

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
11 DE 3429776 A1

51 Int. Cl. 4:  
B23K 20/10  
G 01 M 13/00

21 Aktenzeichen: P 34 29 776.6  
22 Anmeldetag: 13. 8. 84  
43 Offenlegungstag: 13. 2. 86

DE 3429776 A1

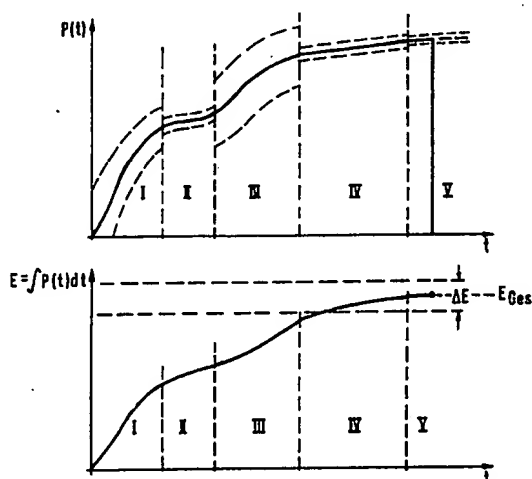
71 Anmelder:  
Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München, DE

72 Erfinder:  
Moll, Helmut, 8500 Nürnberg, DE; Richter, Martin,  
8521 Marloffstein, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Qualitätskontrolle beim Ultraschallschweißen sowie zugehörige Vorrichtung

Es ist bekannt beim Ultraschallschweißen signifikante Schweißparameter zu erfassen und mit einstellbaren, unteren und oberen Toleranzwerten zu vergleichen. Es wurde bereits vorgeschlagen, die Schweißenergie durch Variation der Leistungs- bzw. der Schweißzeit auszuregeln. Nunmehr wird während des Schweißvorganges speziell der Leistungsverlauf  $P(t)$  bzw. die daraus ermittelbare Energie  $(\int P(t)dt)$  abschnittsweise anhand einer vorgebbaren Sollkurve auf Übereinstimmung mit abschnittsweise unterschiedlich vorgebbaren Toleranzbereichen verglichen. Bei der zugehörigen Vorrichtung weisen die dem Ultraschallgenerator zugeordneten Schalteinheiten wenigstens Schwellwertglieder bzw. Komparatoren auf; deren Funktion kann auch softwaremäßig durch ein vorhandenes Mikroprozessorsystem realisiert werden. Durch das vorgeschlagene Prozessorsystem läßt sich die Qualitätskontrolle beim Ultraschallverschweißen verbessern.



DE 3429776 A1

Patentansprüche

- ① Verfahren zur Qualitätskontrolle beim Ultraschall-  
schweißen, bei dem signifikante Schweißparameter erfaßt  
5 und mit unteren und oberen Toleranzwerten verglichen  
werden, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß als Schweißparameter in an sich bekannter Weise  
die Leistungsabgabe des Ultraschallgenerators bzw. die  
daraus er mittelbare Schweißenergie erfaßt wird, wobei  
10 aber während des Schweißvorganges speziell der Leistungs-  
bzw. Energieverlauf ( $P(t)$  bzw.  $\int P(t)dt$ ) abschnittsweise  
mit einer für eine Gutteilschweißung ermittelten Soll-  
kurve auf Übereinstimmung in abschnittsweise unter-  
schiedlich vorgebbaren Toleranzbereichen verglichen  
15 wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h g e-  
k e n n z e i c h n e t , daß die Gesamtenergie ( $E_{\text{Ges}} =$   
 $\int P(t)dt$ ) des Schweißvorganges mit oberen und unter-  
20 ren Grenzwerten einer für die Gutteilschweißung ge-  
eigneten Schweißenergie verglichen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h g e  
k e n n z e i c h n e t , daß in Abhängigkeit der ab-  
25 schnittsweise vorgegebenen Sollkurve unterschiedliche  
Kriterien für die Qualität des Schweißvorganges ableit-  
bar sind.
4. Verfahren nach Anspruch 3, d a d u r c h g e-  
30 k e n n z e i c h n e t , daß bei Abweichung der Werte  
und/oder Zahl eines oder mehrerer der Qualitätskriterien  
vom vorgegebenen Toleranzbereich der Schweißvorgang ab-  
gebrochen wird.

5. Vorrichtung zur Qualitätskontrolle bei einem Ultraschallschweißgerät, mit einer Sonotrode als Werkzeug zum Übertragen von Schallenergie auf die zu verschweißenden Werkstücke, einem Amboß als Aufnahmewerkzeug für wenigstens eines der Werkstücke, einem zugehörigen Ultraschallgenerator sowie zugeordneten Signalerfassungs- und -verarbeitungseinheiten, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß dem Generator (20) Mittel (30) zur Erfassung der von der Sonotrode (11) abgegebenen Leistung ( $P(t)$ ) und/oder Energie ( $\int P(t)dt$ ) zugeordnet sind und daß die Signalverarbeitungseinheit (40) Schwellwertglieder und Schaltglieder zum Vergleich der Meßwerte mit jeweils vorgegebenen Toleranzwerten aufweist.
6. Einrichtung nach Anspruch 5, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die Mittel zur Erfassung der Ultraschalleistung ( $P(t)$ ) eine Einheit (32) zur phasenrichtigen Multiplikation von Sonotrodenstrom ( $I$ ) und Sonotrodenspannung ( $U$ ) umfassen.
7. Vorrichtung nach Anspruch 5, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die Signalverarbeitungseinheit (40) mit Schwellwert- und Schaltgliedern als Mikroprozessor (400) mit zugehörigen Hardware-Komponenten (401 - 460) realisiert ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß dem Mikroprozessor (400) Codiereinheiten (440, 450, 460) zur Eingabe signifikanter Parameter von Gutteilkurven und zugehörigen Toleranzgrenzen zugeordnet sind.
9. Vorrichtung nach Anspruch 7, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die Betriebsart des Mikroprozessors (400) anzeigbar ist.

5    Verfahren zur Qualitätskontrolle beim Ultraschall-  
     schweißen sowie zugehörige Vorrichtung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Quali-  
tätskontrolle beim Ultraschallschweißen gemäß dem Ober-  
10 begriff des Patentanspruches 1 sowie auf eine Vorrich-  
tung zur Durchführung des Verfahrens gemäß dem Oberbe-  
griff des Patentanspruches 5.

Das Verbinden von Werkstücken durch Ultraschallschweißen  
15 setzt sich im zunehmendem Maße durch. Dabei hat sich ei-  
nerseits das Ultraschallschweißen von Kunststoffen, ins-  
besondere von Thermoplasten, als eigenständiges Gebiet  
entwickelt. Andererseits wird Ultraschall auch zum Ein-  
betten von metallischen Werkstücken in thermoplastische  
20 Grundkörper verwendet. Schließlich gewinnt das Ultra-  
schallschweißen beim Verbinden metallischer Werkstücke  
zunehmend an Bedeutung.

Während früher die Prozeßvariablen des Schweißvorgangs  
25 durch Schalleinwirkung, wie Ultraschallfrequenz, -ampli-  
tude, -leistung oder -energie sowie Schweißzeit, mehr  
oder weniger nach empirischer Ermittlung vorgegeben bzw.  
überwacht wurden, bemüht man sich neuerdings, solche  
Schweißparameter während des Schweißvorganges zu erfas-  
30 sen und zur Qualitätssicherung einzusetzen. Beispiels-  
weise ist aus der DE-OS 28 23 361 ein Überachungsver-  
fahren für Ultraschall- und Schallgeräte sowie eine zu-  
gehörige Vorrichtung bekannt, bei dem speziell die  
Schwingungsamplitude berührungsfrei abgenommen und als  
35 signifikante Meßgröße für die Qualität der Verschweißung  
laufend überwacht wird. Diesem Stand der Technik liegt

- die Vorstellung zugrunde, daß die Schwingungsamplitude die entscheidende Einflußgröße für den Verschleißvorgang ist, woraus sich bei Kenntnis der Materialparameter der zu verschweißenden Teile die über eine vorgegebene
- 5 Schweißzeit notwendige Schweißenergie ermitteln läßt. Dabei wird davon ausgegangen, daß zum Erreichen einer hinreichenden Schweißverbindung von Werkstücken ein bestimmter Energiebetrag aufgewendet werden muß, der sich aus dem Integral von Leistung über die Zeit als Prozeß-
- 10 variable ergibt.
- Während bei der Verschweißung von Kunststoffteilen die Schweißparameter relativ gut überschaubar sind, trifft letzteres für das Verschweißen von metallischen Werkstük-
- 15 ken nicht zu. Bisher war es noch nicht möglich, den Prozeßablauf einer Schweißung von metallischen Werkstücken im einzelnen zu überwachen und gegebenenfalls zu beeinflussen. Grund dafür ist der komplexere phänomenologische Ablauf des Ultraschallschweißens bei Metallen als
- 20 bei Kunststoffen. Da aber die mechanischen Anforderungen an verschweißte Metallteile durchweg höher als bei Kunststoffteilen sind, ist hier die Qualitätssicherung besonders wichtig.
- 25 Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren sowie eine zugehörige Vorrichtung anzugeben, mit denen eine verbesserte Qualitätskontrolle beim Ultraschallschweißen möglich wird.
- 30 Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch den kennzeichnenden Teil des Patentanspruches 1 gelöst. Eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruches 5 definiert. Dabei kann eine solche Vorrichtung die übli-

chen Schaltmittel zur Ermittlung der Leistung bzw. Energie aufweisen. Insbesondere ist ein Mikroprozessorsystem vorgesehen.

- 5 Mit der Erfindung ist gleichermaßen der Leistungsbedarf pro Zeiteinheit sowie auch die gesamte Energieabgabe erfaßbar. Es wird ein Prozessorsystem vorgeschlagen, mit dem man sogenannte "Gutteilkennlinien" vorgeben und speichern kann. Damit können dem Verlauf solcher Kenn-
- 10 linien anpaßbare, über den Zeitverlauf unterschiedlich tolerierbare Hüllkurven zugeordnet werden, die Grenzen für positive und negative Abweichungen definieren, woraus unterschiedliche Kriterien für die Qualität des Schweißvorganges ableitbar sind. Vorzugsweise ist dabei die An-
- 15 zahl zulässiger Abweichungen der Werte eines oder mehrerer der Qualitätskriterien, die zu einer Geräteabschaltung führen, vorwählbar.

- Der Erfindung lag eine Analyse der beim Ultraschall-
- 20 schweißen von Werkstücken phänomenologisch ablaufenden Elementarvorgänge zugrunde. Unter anderem wurde dabei gefunden, daß die über die Zeit aufgetragene Leistung einen spezifischen Kurvenverlauf hat, welcher abschnittsweise unterschiedlich bewertet werden muß. Es ist nicht
- 25 hinreichend - wie durchweg beim Stand der Technik angenommen - die während des Verschweißvorganges insgesamt abgegebene Energiemenge zu erfassen und Leistung und Zeit gegeneinander auszuregeln.

- 30 Weitere Einzelheiten sind Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Verfahren zur Qualitätssicherung beim Ultraschallschweißen sowie eines Ausführungsbeispiels einer dafür verwendeten Überwachungs- vorrichtung anhand der Zeichnung. Es zeigen

FIG 1 einen charakteristischen Leistungs- und Energieverlauf beim Ultraschallschweißen.

FIG 2 und FIG 3 jeweils für spezifische Materialien  
5 signifikante Gutteilkurven.

FIG 4 eine Ultraschallschweißanlage mit zugehöriger Überwachungsvorrichtung und

10 FIG 5 den Aufbau und Komplettierung eines zur Überwachungseinrichtung nach FIG 4 vorgesehenen Prozessor-systems.

15 In FIG 1 ist im oberen Teil eine Leistungsbedarfskurve für das Ultraschallverschweißen zweier Werkstücke aus einem nicht näher spezifizierten Werkstoff über die Zeit einer Schweißung aufgetragen, wie sie sich theoretisch aus einer phänomenologischen Betrachtung ergeben müßte:  
Im Bereich I setzt ein schneller Anstieg von P ein, was  
20 als Maß für die Sauberkeit der zu verschweißenden Fügeflächen der Werkstücke gedeutet werden kann. Im Bereich II beginnt das Material zu fließen, wodurch eine Verringerung des Leistungsanstiegs zu erwarten ist. Bereich III kennzeichnet dagegen die eigentliche Verschmelzung der beiden Teile miteinander, wonach der Leistungsbedarf sich im Bereich IV stabilisiert. Im Bereich V erfolgt die Abschaltung und damit die Beendigung des  
25 Schweißvorganges.

30 Der bei einer derartigen Leistungskurve durch Integration sich ergebende Energiebedarf ist durch eine stetig ansteigende Kurve mit unterschiedlicher Steigung gekennzeichnet. Die für eine Verschweißung notwendige und hinreichende Gesamtenergie weist untere und obere Toleranzgrenzen auf.  
35

Beim Stand der Technik wurde bisher durchweg die Gesamtenergie als Fläche unter der Leistungskurve ermittelt, wobei der Leistungswert selbst und die Zeit als gegeneinander kompensierbar angesehen werden. Bei Absinken  
5 des Leistungswertes wird die Schweißzeit verlängert, bei Ansteigen des Leistungswertes die Schweißzeit dagegen verringert, so daß das Integral über die Leistungskurve konstant bleibt.

- 10 Es wurde nun erkannt, daß es beim Ultraschallschweißen sinnvoll ist, abschnittsweise den Leistungsbedarf bzw. den Energieverlauf pro Zeiteinheit zu erfassen und zu bewerten. Zu diesem Zweck kann ein einziger Sensor genügen, dessen Meßsignale abspeicherbar und weiterver-  
15 arbeitbar sind. Die zugehörige Überwachungsvorrichtung muß dafür über den Zeitverlauf unterschiedlich tolerierbare Hüllkurven mit unterschiedlichen Toleranzgrenzen für positive und negative Abweichungen generieren können. An dieser Vorrichtung muß die Anzahl zulässiger Über-  
20 schreitungen der Toleranzkurven einstellbar sein, so daß unterschiedliche Qualitätskriterien für den Verschweißvorgang vorgegeben werden können.

In FIG 2 und FIG 3 ist gezeigt, daß beim Verschweißen von  
25 Kunststoffteilen unterschiedliche Materialien ganz spezifische Strukturen im Leistungsdiagramm aufweisen. Es sind beispielsweise Diagramme mit identische Prozeßvariablen, wie Schweißamplitude (35  $\mu\text{m}$ ) und Schweißdruck (3,5 bar) sowie Vorschub (1 mm/s), für je eine Gutteilschweißung  
30 aufgezeichnet. Dabei liegen beim ersten Beispiel für Polyoxymethylen (POM) bei einer Gutteilschweißung zwei Peaks vor, während sich beim zweiten Beispiel für Acrylnitril-Butadien-Styrolpolymer (ABS) lediglich ein



einzigster Peak ergibt. Es kann also festgestellt werden, daß insbesondere bei Kunststoffen signifikante, vom Material abhängige Strukturmerkmale in der Leistungskurve vorhanden sind.

- 5 Eingehende Untersuchungen bei Kunststoffen haben gezeigt, daß die Struktur der Leistungskurve aber nicht nur vom Material selbst, sondern auch vom Lagerzustand der Werkstücke, beispielsweise spritzfrische Teile oder mit Wasser gesättigte Teile, und auch von mechanischen Beschädigungen der Fügefläche abhängen kann. Es können somit auch verschiedene Kunststoffe, die äußerlich nicht unterschieden werden können, bei der Schweißung differenziert werden. Dies gilt insbesondere für schwer schweißbare Kunststoffe, die durch unterschiedliche Pigmente oder Glasfasern und dergleichen mit bestimmten optischen oder mechanischen Eigenschaften versehen wurden. Solche Kunststoffe benötigen üblicherweise eine längere Schweißzeit, wobei auch mechanische Schäden durch die schwingende Belastung beim Verschweißen auftreten können.

- Der phänomenologische Vorgang des Schmelzschweißens bei Kunststoffen wird also durch das Material, dessen Vorbehandlung und auch durch die Geometrie des Werkstückes eindeutig beeinflußt. Aber auch bei Metallen, bei denen aufgrund der Relativbewegung der Werkstücke phänomenologisch ein Reibschweißen vorliegt, lassen sich diese Einflußgrößen in ähnlicher Form erfassen. Unter der Voraussetzung, daß im Einzelfall jeweils eine Gutteilkennlinie aufgenommen wurde, ist dadurch die Möglichkeit einer hinreichenden Qualitätskontrolle geschaffen.

In FIG 4 bedeuten 10 ein Ultraschallschweißgerät, das im wesentlichen aus einer Sonotrode 11 als aktives Schweiß-

werkzeug und einem Amboß 12 als Aufnahmewerkzeug für die zu verschweißenden Teile sowie zugehörigen Mitteln zur Schweißdruckerzeugung bestehen. Dem Schweißgerät 10 ist ein Ultraschallgenerator 20 zugeordnet, der Ultraschall geeigneter Frequenz, beispielsweise im Bereich zwischen 16 und 20 kHz, erzeugt.

Dem eigentlichen Schweißgerät 10 sind Meß- und Überwachungseinrichtungen zugeordnet, mit denen Sonotrodenstrom I und Sonotrodenspannung U erfaßbar sind, so daß fortlaufend die Meßwerte als Analogsignale in Abhängigkeit von der Schweißzeit zur Verfügung stehen. Eine diesbezügliche Einrichtung 30 besteht im wesentlichen aus den primären Meßeinheiten 31 mit Mitteln zur Vorverstärkung der Signale für Strom und Spannung sowie einer nachfolgenden Einheit 32 zur phasenrichtigen Multiplikation des Sonotrodenstroms I und der Sonotrodenspannung U zur Bildung des Leistungssignals  $P(t)$ . Durch Integration in einer Einheit 33 kann das zugehörige Energiesignal  $E = \int P(t) dt$  gebildet werden.

Die so erzeugten Signale werden auf eine Prozessoreinheit 40 gegeben, die im wesentlichen digital arbeitet und einen Vergleich der anfallenden Meßwerte mit den vorher eingegebenen Sollwerten ermöglicht. Eine dafür verwendbare, mit entsprechender Hardware komplettierte Mikroprozessoreinheit wird anhand der FIG 5 erläutert.

In FIG 5 sind einem Mikroprozessor 400 mit zugehörigen Speichereinheiten Schaltmittel für die Aufbereitung und Eingabe der die Prozeßvariablen repräsentierenden Daten einerseits und für die Eingabe und Speicherung von codierten Vergleichsdaten andererseits zugeordnet: Im einzelnen bedeutet 401 einen Verstärker für das Eingangssignal mit zugeordneten Justage-Potentiometern, dem ein Analog-Digi-

- tal-Wandler 402 nachgeschaltet ist. Von dort gelangt der Datenbus zum Mikroprozessor 400. Über parallel abgehende Datenbusse und nachfolgende Digital-Analog-Wandler 403 und 404 können die Signale rückgewandelt werden und zwecks
- 5 Sichtkontrolle auf einen X-Y-Schreiber gegeben werden. Weiterhin ist zur Triggerung ein Verstärker 405 mit Signalanschluß und Einstellmöglichkeit von variablen Triggerschwellen über ein Potentiometer 406 vorhanden.
- 10 Dem Mikroprozessor 400 sind Schalter 411 bis 416 zugeordnet, mit dem die verschiedenen Betriebsarten eingestellt werden können. Es sind folgende Betriebsarten vorgesehen: Rücksetzen, Triggern, Sollwerte einlesen, Sollwerte ausgeben, Grenzwerte ausgeben, Istwerte ausgeben.
- 15 Entsprechende Daten können über ein BCD- Schaltglied 418 nach einem Eins-aus-Zehn-Code auf zugeordnete Leuchtdioden 421 bis 426 zur Signalisierung ausgegeben werden.
- 20 Dem Mikroprozessor 400 sind digital arbeitende Codiereinheiten 440, 450 und 460 mit einzeln betätigbaren Einstellgliedern zugeordnet, an denen die Werte der Überwachungsparameter vorwählbar sind. Beispielsweise sind vorwählbar: Abtastdauer, zulässiger Fehler, Toleranzabschnittsgrenzen sowie dafür jeweils vorgesehene Wert- und Zeittoleranzen,
- 25 wofür jeweils separate, in FIG 5 nur angedeutete Codierschalter vorhanden sind. Über ein binäres Schaltglied 420 mit einem Eins-aus-Sechzehn-Code können Mehr-bit-Signale vom Mikroprozessor 400 auf die Codiereinheiten 440, 450 und 460 gegeben werden und von dort die Daten der eingestellten Werte zum Mikroprozessor 400 zurückgekoppelt werden.
- 30
- Die Überwachungscharakteristik der Proessoreinheit 400 läßt sich also anhand der Codiereinheiten 440, 450 und 460
- 35 bestimmen. Einerseits kann die Überwachungsdauer und die

Speicherung der Kurven vorgewählt werden. Das Einlesen der Sollkurve sowie das entsprechende Einlesen und Überwachen der Istkurven wird jeweils durch ein Triggersignal gestartet; letzteres endet nach Ablauf des Überwachungsinter-

5 valls. Damit die Vorrichtung nach Aus- bzw. Einschalten der Netzspannung sofort betriebsbereit ist, werden die Sollwerte in einem batteriegepufferten Speicherbetrieb eingelesen. Die unteren und oberen Grenzwerte, welche die Grenzkurven bilden, sind nicht gespeichert, sondern wer-

10 den aus den Sollwerten und den eingestellten Toleranzvorgaben berechnet. Weiterhin kann der zulässige Fehler des Meßsignals in Prozent eingegeben werden. Bei der Überwachung kommt es nach dem Triggern erst dann zu einer Fehlermeldung, wenn ein Meßsignal, also die Istgröße, länger

15 als vorgegeben ununterbrochen die unteren bzw. oberen Grenzwerte unter- bzw. überschreitet.

Bei Abweichungen der Istwertkurven von den Sollwertbereichen, die quantitativ oder in Wiederholung ein vorgegebenes Maß von der vorgegebenen Gutteilkurve abweichen, wird

20 eine Ausgangseinheit 430 über ein Relais aktiviert, so daß schlechte Schweißteile aussonderbar sind. Nur Schweißteile, welche den Toleranzvorgaben entsprechen, werden weiterverarbeitet.

25 Wesentlich ist, daß mit den Codiereinheiten 440, 450 und 460 die Grenzen für die geforderten Übereinstimmungen von Istwert- und Sollwertkurven in diskreten Bereichen, beispielsweise in fünf Abschnitten, eingestellt werden können.

30 Die Wert- und Zeittoleranz des Überwachungsabschnittes gilt vom Triggerzeitpunkt bis zu der Grenze, die für den ersten Abschnitt eingestellt wird. Weitere Einstellungen gelten für die nächsten Abschnitte. Die Wert- und Zeittoleranz des letzten Abschnittes gilt von der für diesen Abschnitt eingestellten Grenze bis zum Ende der

35 Überwachungsdauer, welche jeweils vom Leistungssignal

selbst getriggert ist. Gleichzeitig wird dabei die Gesamtenergie aufsummiert und auf Übereinstimmung im Toleranzbereich geprüft, so daß auch die Kontrolle einer notwendigen und hinreichenden Gesamtenergiemenge  $E_{\text{Ges}}$  für die Verschweißung gewährleistet ist.

Es hat sich gezeigt, daß bei Komplettierung einer bekannten Ultraschallschweißanlage nach FIG 4 durch die Vorrichtung nach FIG 5 wesentliche Verbesserungen in der Qualitätskontrolle möglich sind. Dies gilt einerseits für die Verschweißung von Kunststoffteilen oder andererseits von Metallteilen untereinander aber auch für die Einbettung von Metall- in Kunststoffteilen. Das erfindungsgemäße Verfahren kann also gleichermaßen für die an sich phänomenologisch unterschiedlichen Schweißtechnologien angewendet werden.

9 Patentansprüche

5 Figuren



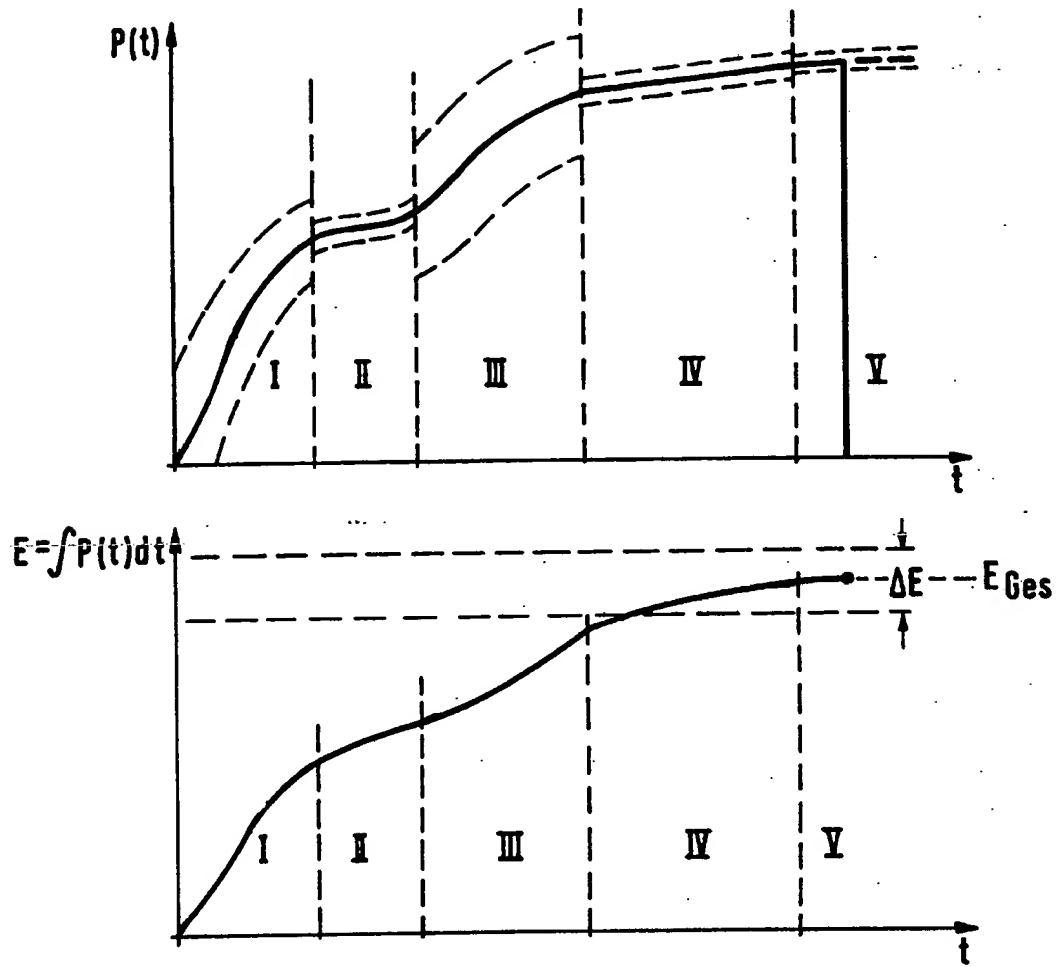


FIG 1

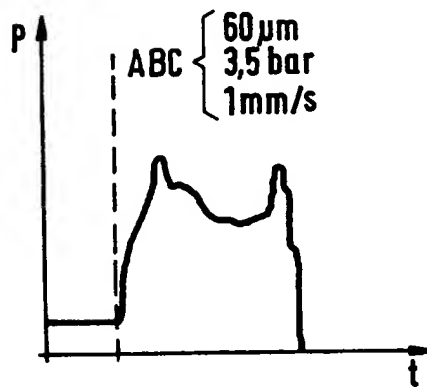


FIG 2

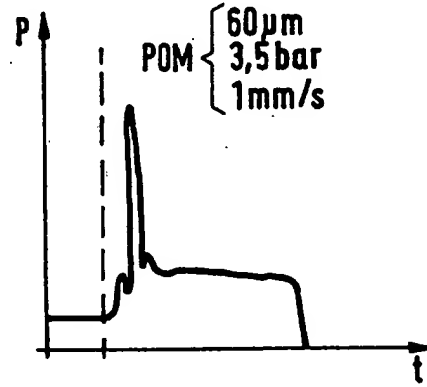


FIG 3

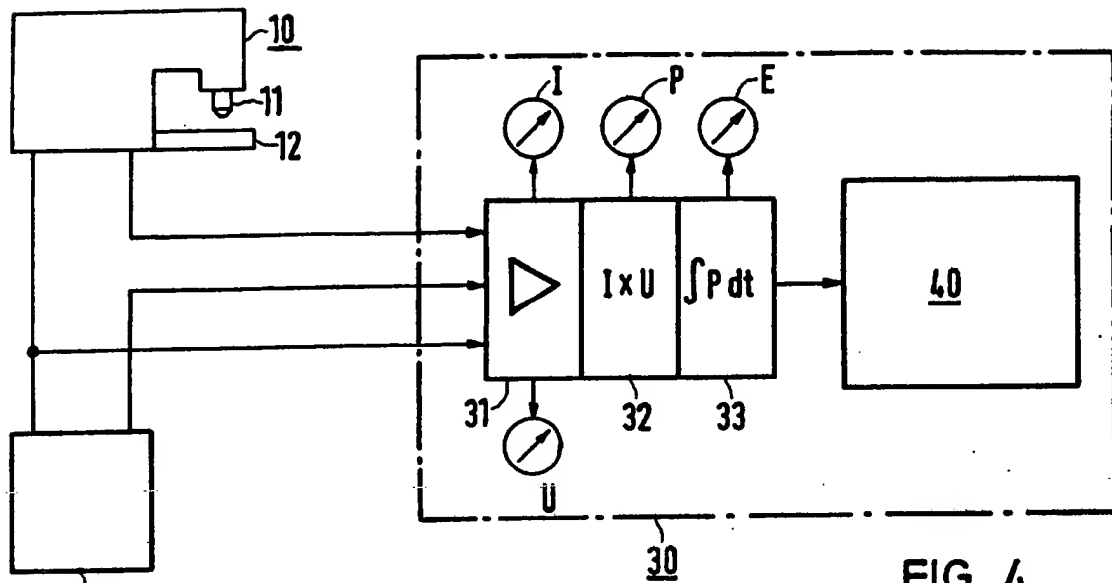


FIG 4

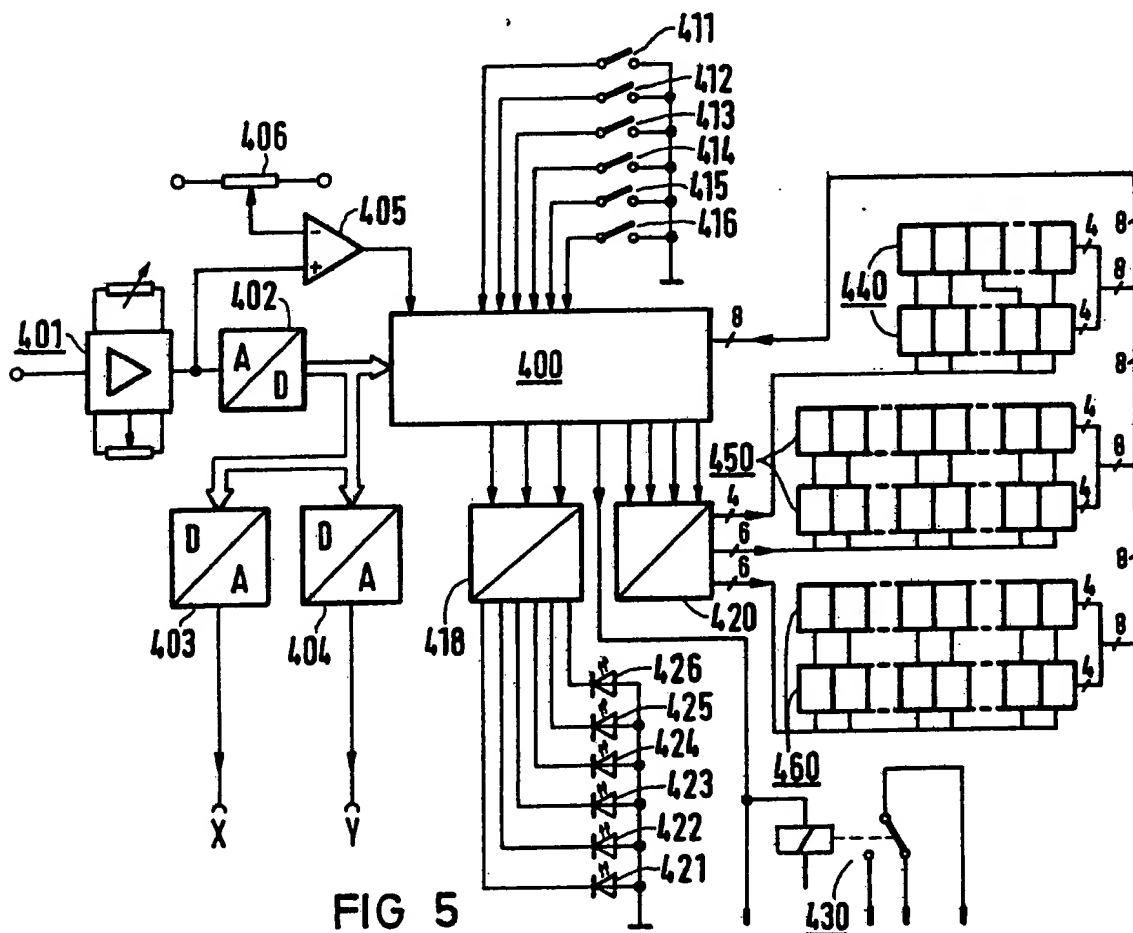


FIG 5